

Д. А. Тинарский, А. Д. Бердников,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ПО «МАЯК»**

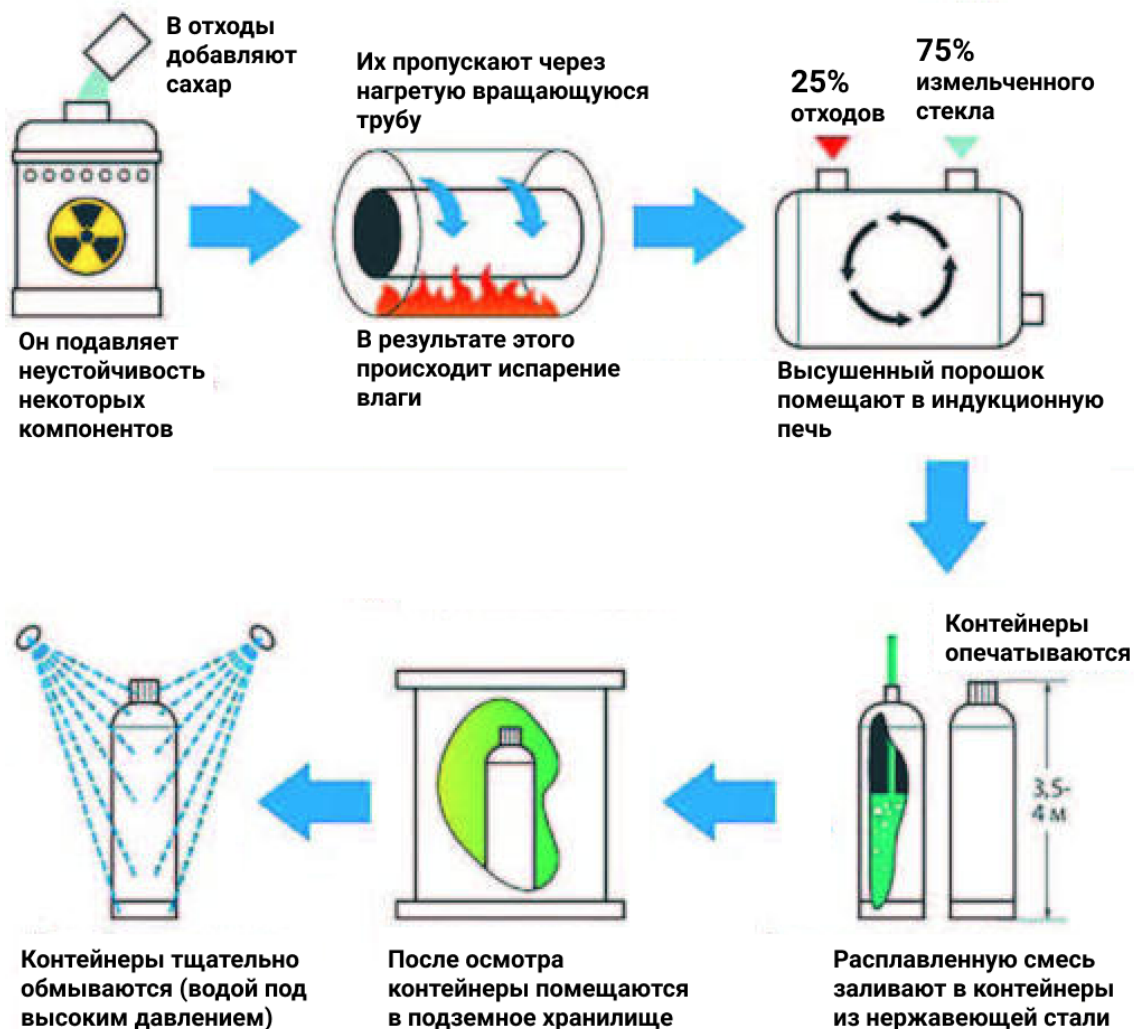
The article is devoted to the issues of reprocessing nuclear fuel at Mayak, in particular, to the various environmental and technological aspects of nuclear waste vitrification. The vitrification technology at Mayak, which is one of the world leaders in the field of spent nuclear fuel reprocessing, was examined in detail.

В последние годы мировая общественность активно занялась вопросами декарбонизации различных видов экономической деятельности. Не стала исключением и энергетика – отрасль, которая является одним из лидеров по выбросам CO<sub>2</sub> и других вредных веществ в атмосферу. Особый интерес в этом отношении имеет атомная энергетика, которая в настоящее время подвергается критике со стороны ряда стран, но в целом, так же следует трендам декарбонизации. Несмотря на очевидные преимущества от декарбонизации для экологии, имеются и недостатки данного процесса; конкретно в атомной энергетике они связаны с эксплуатацией и захоронением отработавшего ядерного топлива.

Важность данной проблемы также отмечена в работах международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В частности, в [1] говорится: «Отходы должны перерабатываться таким образом, чтобы они приобрели устойчивые и твердые формы, имели сокращённый объем и были фиксированы, насколько это представляется практически возможным, с целью облегчения их хранения, перевозки и захоронения». Реализовать этот параметр позволяет остекловывание, которое прочно иммобилизует жидкие высокоактивные отходы (ВАО) и минимизирует радиационный эффект от них.

Технология остекловывания начинается с выпаривания воды из отходов, после чего сразу направляется на перемешивание со стеклообразующими добавками. Добавками могут быть песок, глина, борсодержащий природный датолит и другие материалы, улучшающие технологический процесс варки и

свойства конечного продукта. Далее смесь радиоактивных отходов со стеклообразующими добавками поступает в печь для варки радиоактивного стекла [2]. Позже сформировавшуюся стекловидную массу разливают по контейнерам из нержавеющей стали, для последующего затвердевания и



захоронения (рис. 1).

Рис. 1. Технологический процесс остекловывания [3].

Процесс остекловывания используется на разных предприятиях атомной отрасли, например, в российских организациях ФГУП «Радон» и ПО «Маяк». В рамках данной статьи мы более подробно посмотрим, как этот процесс организован на ПО «Маяк», являющийся одним из мировых лидеров в области переработки отработавшего ядерного топлива. Сперва мы проанализируем технологическое совершенствование печей ЭМ-500, используемых на ПО «Маяк» (рис. 2).

1987	1988	1991	1997	2001	2006	2006	2010	2016	...	2027
ЭП-500/2		ЭП-500/1-р		ЭП-500/3		ЭП-500/4		ЭП-500/5		НКО
										Разрабатывается
1 тыс.м³ ВАО		11,5 тыс.м³ ВАО		8 тыс.м³ ВАО		8,1 тыс.м³ ВАО				
162 т стекла		2 200 т стекла		1 800 т стекла		2 040 т стекла				
4 млн. Ки		282 млн. Ки		175 млн. Ки		182 млн. Ки				

Рис. 2. Эксплуатация печей в историческом разрезе [5].

Все печи, начиная с ЭП-500/2, заканчивая ЭП-500/5 были стационарными и не заменяемыми, то есть, после окончания срока эксплуатации их было необходимо консервировать. Новая же разработка, а именно Новый Комплекс остекловывания (НКО) будет сконструирован из заменяемых частей и деталей, иначе говоря, его срок эксплуатации может быть неограничен. Конструкция малогабаритного плавителя НКО разрабатывается специалистами ПО «Маяк» уже несколько лет. Ранее были проведены испытания второго по счету прототипа. В нынешнем году будет создан третий, с учетом полученного опыта, максимально приближенный по конструкции к промышленному образцу [4].

Перейдем к более детальному рассмотрению схемы процесса остекловывания на ПО «Маяк» (рис. 3). Смешанный раствор поступает в электропечь, далее полученный расплав сливают в канистры из нержавеющей стали. Те газы, которые образуются при варке и сливе раствора пропускаются через систему охлаждения и фильтрации, после чего их выпускают в атмосферу. Захоранивают остеклованные ядерные отходы в специальных хранилищах. В зависимости от того, какие отходы остекловывают, используются либо приповерхностные хранилища, либо хранилища глубокой формации [2].

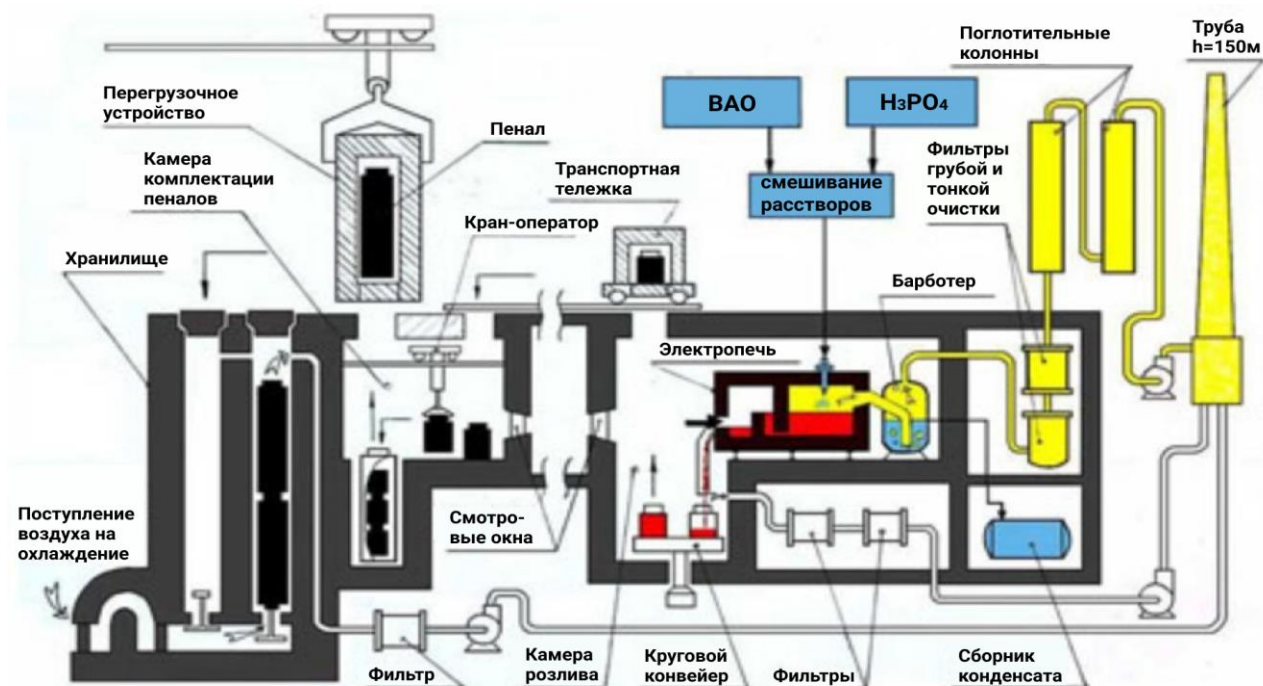


Рис. 3. Процесс остекловывания на ПО «Маяк» [2]

Обратим внимание на работу печи формата ЭП-500 (рис. 4).

Процесс варки, как правило, занимает несколько часов. Заранее сформированную смесь из ВАО и добавок помещают в печь, где ее происходит нагрев. Полученный раствор, проходя через затвор маленькими порциями поступает в канистру. Сформировавшиеся газы через систему фильтрации выходят в окружающую среду.

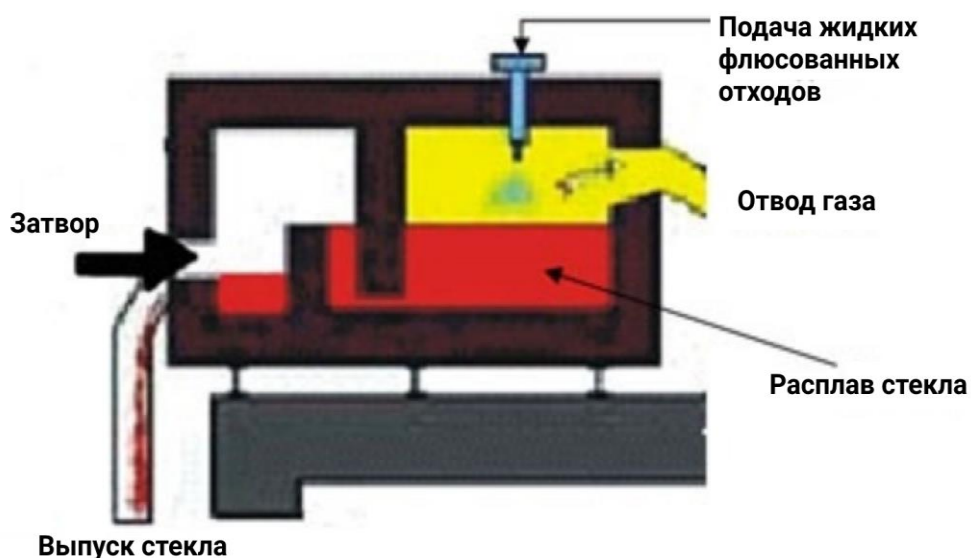


Рис. 4. Схематичная работа печи ЭП-500 [2].

В заключении подчеркнем, что технология остекловывания, применяемая на ПО «Маяк», является и будет оставаться актуальной в перспективе. В частности, потому, что она решает острую проблему переработки и захоронения накопившихся ядерных отходов наиболее экологичным способом. При этом продолжаются разработки еще более прогрессивных технологий остекловывания, что доказывает важность этого процесса для атомной промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Захоронение радиоактивных отходов. Конкретные требования безопасности №SSR-5, 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1449r\\_Web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1449r_Web.pdf) (дата обращения 13.04.2021).

2. Применение стекол при иммобилизации радиоактивных отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/technology/33037> (дата обращения 13.04.2021).

3. Превращение жидких радиоактивных отходов в стекло. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13872-prevrashchenie-zhidkikh-radioaktivnykh-otkhodov-v-stabilnoe-steklo> (дата обращения 13.04.2021).

4. «Маяк» построит в Озерске новый комплекс остекловывания высокоактивных отходов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energyland.info/analitic-show-208976> (дата обращения 13.04.2021).

5. Концептуальные и технические решения по созданию на ПО «Маяк» установок остекловывания текущих и накопленных жидких ВАО. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ezproxy.urfu.ru:4169/download/elibrary\\_22289659\\_58324410.pdf](https://ezproxy.urfu.ru:4169/download/elibrary_22289659_58324410.pdf) (дата обращения 13.04.2021).

6. Превращение жидких радиоактивных отходов в стекло. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/13872-prevrashchenie-zhidkikh-radioaktivnykh-otkhodov-v-stabilnoe-steklo> (дата обращения 13.04.2021).